Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 359-369

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۶۹-۳۵۹

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی انباره موتور احتراقی یک چمن‌زن دوشی جهت کاهش سطح آلایندگی صوتی

شهریار صدیقی[۱]، داود کلانتری[۲*]، ژوزف ردل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

چکیده

در مطالعه حاضر امکان بهینه‌سازی انباره یک موتور احتراقی کوچک مربوط به چمن‌زن دوشی جهت کاهش سطح سروصدای تولیدی آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای پژوهش عبارت بودند از: انباره اصلی موتور و انباره بهینه‌شده در دو سطح ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ دور در دقیقه و عوامل تحت مطالعه شامل تراز فشار صوتی (SPL) و تغییرات فشار پس‌زنی (ΔP) در حالت بدون بار. به‌علاوه تحلیل فرکانسی تیمارها برای بررسی عملکرد صوت‌های خروجی موتور مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. جمع‌آوری داده‌های صوتی طبق ویژگی‌های مکان آزمون بر اساس استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران که درخصوص مقررات آزمون برای اندازه‌گیری سروصدای انواع چمن‌زن‌ها است، انتخاب شد. طبق نتایج به‌دست آمده، در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، تراز فشار صوت انباره بهینه شده به‌میزان ۶/۴٪ نسبت به انباره اصلی کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج حاصل از تبدیل سریع فوریه (FFT) نشان داد که شدت و دامنه فرکانس‌های خروجی از انباره بهینه شده در محدوده فرکانس‌های ۱۰ تا ۱۵کیلو هرتز کاهش پیدا کرده است. به‌عنوان نتیجه کلی حاصل از تحقیق حاضر، با نصب انباره بهینه شده میزان حداکثر ساعت کاری کاربر بر اساس استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حدود مواجهه در مقابل صوت حاصل از موتور، در دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه برابر با ۴/۸ ساعت افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آلایندگی صوتی، ارگونومی، انباره، تراز فشار صوتی، چمن‌زن دوشی

مقدمه

در دنیای امروز، تمام انسان‌ها به شکل‌های متفاوت در معرض سروصدا قرار دارند. آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که در محیط‌های شغلی و زندگی روزمره با ورود ماشین‌ها و تجهیزات به این عرصه پدیدار شده است. این عامل محیطی استرس‌زا در طول یک دهۀ گذشته به‌میزان قابل‌توجهی روند افزایشی داشته است. مهم‌ترین آثار نامطلوب سروصدا بر روی انسان مواردی مانند افت شنوایی دائم و موقت، اختلال در سیستم بینایی، برهم‌زدن سیستم تعادلی بدن، ایجاد ناراحتی‌های عصبی و روانی، کاهش بازده کار و آثار فیزیولوژیکی مخرب روی بدن مانند افزایش ضربان قلب، فشار خون و حتی تقلیل در درک محاوره طبیعی می‌باشد (Hassan Beigi Bidgoli *et al.*, 2005). سازمان جهانی بهداشت (WHO[۴]) برآورد کرده است که بیش از ۲۷۸ میلیون نفر در دنیا به اختلالات شنوایی از نوع متوسط تا شدید دچارند (Golmohammadi, 2007). به‌دلیل اهمیت داشتن این موضوع و تاثیر آن بر سلامت جسم و روان افراد، تحقیقاتی در زمینه‌های کاری مختلف نیز انجام گرفته است. تحقیقات نشان داده‌اند که ۱۶ درصد این اختلالات شنوایی، ناشی از سروصدا در محیط کار است و تقریباً ۲ درصد تولیدات ناخالص داخلی برای هر کشور درحال توسعه صرف هزینه‌های ناشی از اختلالات صوتی می‌گردد. بر اساس نتایج آماری در ایران فقط در سال ۱۳۹۳ حدود ۶۵۰۰۰۰ کارگاه فعال در زمینه‌های صنعت، معدن، خدمات و کشاورزی شامل کارگاه‌های خانگی با جمعیت بیش از ۳۰۰۰۰۰ نفر شاغل در کشور شناسایی شده است. از این تعداد کارگاه، ۱۸ درصد کارگران آن در معرض عامل سروصدا با مقادیر خطرناک صوتی بودند (Golmohammadi, 2007).

میزان عوارض جسمی و روحی این آلودگی صوتی برای رانندگان و محیط‌های کاری به اندازه‌ای است که برای آن‌ها، استانداردهای فنی و بین‌المللی تعین گردیده است که در سنجش این مقادیر از آن‌ها استفاده می‌شود (Jahanbakhshi, 2016). در این بخش، موتورهای دوزمانه یا چهارزمانه یکی از عوامل بروز عوارض صوتی می‌باشد که در چمن‌زن‌های دوشی، سم‌پاش‌ها، گودال‌کن‌ها و غیره کاربرد دارند. این تجهیزات با ارتعاشات صوتی زیاد، صدمات فراوانی را برای کاربران خود به‌وجود می‌آورند. چمن‌زن‌های دوشی به‌علت ارزان قیمت بودن، هزینه نگهداری پایین، قابلیت مانور بالا و مقرون به‌صرفه بودن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوسیستم، گرایش طراحی و ساخت، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار، گروه طراحی ماشین، دانشکده مهندسی، دانشگاه علوم کشاورزی اسلواکی در نیترا، اسلواکی
(*- نویسنده مسئول: Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.84829
4- World Health Organization

محبوبیت زیادی برای کار در محیط‌های شهری و روستایی دارند. با تکیه بر همین موضوعات آیین‌نامه‌ای برای کنترل و کاهش صدا در محیط‌های کاری به تصویب رسید (Golmohammadi, 2007).

در تحقیقی، Nor *et al*. (2008) با استفاده از معیارهای کیفیت صدا همچون بلندی، تیزی، زبری و قدرت نوسان، شاخص آسایش صوتی را برای یک خودروی سواری به‌دست آوردند. شاخص معرفی شده در تحقیق آن‌ها همبستگی بالایی با نتایج آزمون ژوری[1] داشت. تحقیقات دیگر نشان داده است که ترازهای فشار صدای برابر در فرکانس‌های متفاوت به یک اندازه درک نمی‌شوند. به‌همین دلیل علاوه بر تراز فشار صدا، نحوه درک شنوایی در بازه‌های صوتی نیز در فرکانس مربوطه اهمیت دارد (Lashgari, 2016). بر اساس مطالعات Sabanci *et al*. (1985)، ویژگی‌های صدای منتشر شده از تراکتورها و اثرات آن بر روی شنوایی کاربران را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در گزارش خود بیان کردند که حداکثر تحلیل شنوایی در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز حاصل می‌شود و میانگین کاهش شنوایی برابر ۱۲/۶ دسی‌بل می‌باشد. در این مطالعه مشخص شد که سطح صدای منتشر شده از تراکتورهای مورد آزمایش را ۸۷/۶۳–۷۸/۲۵ دسی‌بل گزارش کردند. Solecki, (2000) مشخص کرد که ۵۶٪ از رانندگان تراکتور تحت مطالعه دارای افت شنوایی بیشتر از ۲۰ دسی‌بل در محدوده فرکانس‌های ۳ تا ۶ کیلو هرتز بوده‌اند. وی تعیین کرد که در خصوص تراکتورها، بیشترین خطر شنوایی، توسط تراکتورهای با قدرت کم و متوسط با سطح صدای ۱۰۱-۸۴ دسی‌بل ایجاد می‌شود و تراکتورهای پرقدرت‌تر سطح صدای کمتری را تولید می‌کنند. Karamat *et al*. (2014) مشخص کردند که موقعیت‌های متفاوت اندازه‌گیری تراز صوت تاثیر معنی‌داری در مقادیر اندازه‌گیری شده آن دارد، به‌طوری که با افزایش فاصله به‌میزان r از موقعیت قبلی، تراز صوتی را به‌مقدار 20log(r) کاهش می‌یابد. Aybek *et al*. (2010) در پژوهشی در خصوص عملیات مختلف با تراکتور بیان کردند که با افزایش مرکزهای باند فرکانسی، تراز فشار صوت کاهش می‌یابد. در این تحقیق نشان داده شد که تراکتورهای مجهز به کابین اصلی در مقایسه با تراکتورهای بدون کابین و تراکتورهای با کابین نصب شده تقلیل سروصدای بهتری به‌همراه دارند. Maleki and Lashgari, (2013) دریافتند کاهش صوت ساطع شده توسط موتور چمن‌زن‌ها به‌علت محدودیت‌هایی مانند کوتاه بودن طول مسیر اگزوز و نبود جاذب‌های صوتی با صرف هزینه فراوان و ایجاد تغییرات اساسی در ساختار موتور امکان‌پذیر می‌باشد. از این جهت در این گونه چمن‌زن‌ها، استفاده از روش فعال نویز برای کاهش صدا نیاز به صرف هزینه‌های زیاد دارد. Pruvost *et al*. (2009) صوت حاصل از احتراق سوخت در خروجی موتور را از صوت حاصل از حرکت مکانیکی اجزای موتور، مجزا نمودند و پیشنهاد کردند که تحقیقات در این راستا تا دریافتن به محدوده صوتی که سبب از دست دادن شنوایی انسان می‌گردد، ادامه پیدا کند. در همین راستا مبحث کیفیت صدا و آسایش صوتی نیز همچنان مورد توجه محققین است. از سوی دیگر امروزه مقوله کیفیت صدای محصول از نگاه مصرف‌کنندگان حائز اهمیت بوده و معیاری برای ارزش‌گذاری محصول به‌شمار می‌آید (Cho and Karavadi, 1999).

مصنوعات بشر به‌طور عام تأثیر متفاوتی بر کاربران خود می‌گذارند که مجموع این تأثیرها موجب ایجاد حس رضایت یا عدم رضایت کاربر از محصول مورد نظر می‌گردد. از آن‌جایی که افزایش آسایش صوتی می‌تواند تاثیر به‌سزایی در افزایش کارآیی افراد داشته باشد، لذا پرداختن به مقوله کیفیت صدا و کمیت صدا در تحقیقات آتی ضروری به‌نظر می‌رسد (Lashgari, 2016).

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده و عدم انجام مطالعه کافی بر روی تراز صدای ماشین‌های فضای سبز به‌خصوص چمن‌زن‌ها، پژوهشی برای بررسی تأثیر نوع انباره و دور موتور با توجه به اهمیت به‌کارگیری این قبیل تجهیزات انجام شد که به‌ناچار در حین استفاده موتور آن‌ها نزدیک کاربر قرار می گیرد. از طرف دیگر به‌دلیل دوزمانه بودن موتور احتراقی این قبیل تجهیزات که ارزان قیمت بوده و به‌علت نبود جاذب‌های صوتی و عدم امکان طراحی اگزوز بلند به‌خاطر مسائل ارگونومیک و افزایش فشار پس‌زنی و در نتیجه خفگی موتور، سطح تولید سروصدای آن‌ها بالا می‌باشد، به‌کارگیری هر نوع روش ساده و ارزان قیمت در کاهش سطح سروصدای تولیدی آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌همین دلیل در کار تحقیقاتی حاضر امکان بهینه‌سازی انباره یک موتور احتراقی کوچک مربوط به یک چمن‌زن دوشی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. ابتدا انباره چمن‌زن موجود در نرم‌افزار ANSYS شبیه‌سازی شده و با تغییر هندسه داخلی آن از طریق نصب پره‌های داخلی مختلف، از نظر توزیع سرعت و فشار داخل انباره و فشار پس‌زنی، مورد بررسی عددی قرار گرفت. سپس بهترین نوع هندسه داخلی طراحی شده از نظر توزیع سرعت و فشار داخل انباره انتخاب شد و پس از ساخته شدن با انباره اصلی نصب شده بر روی دستگاه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

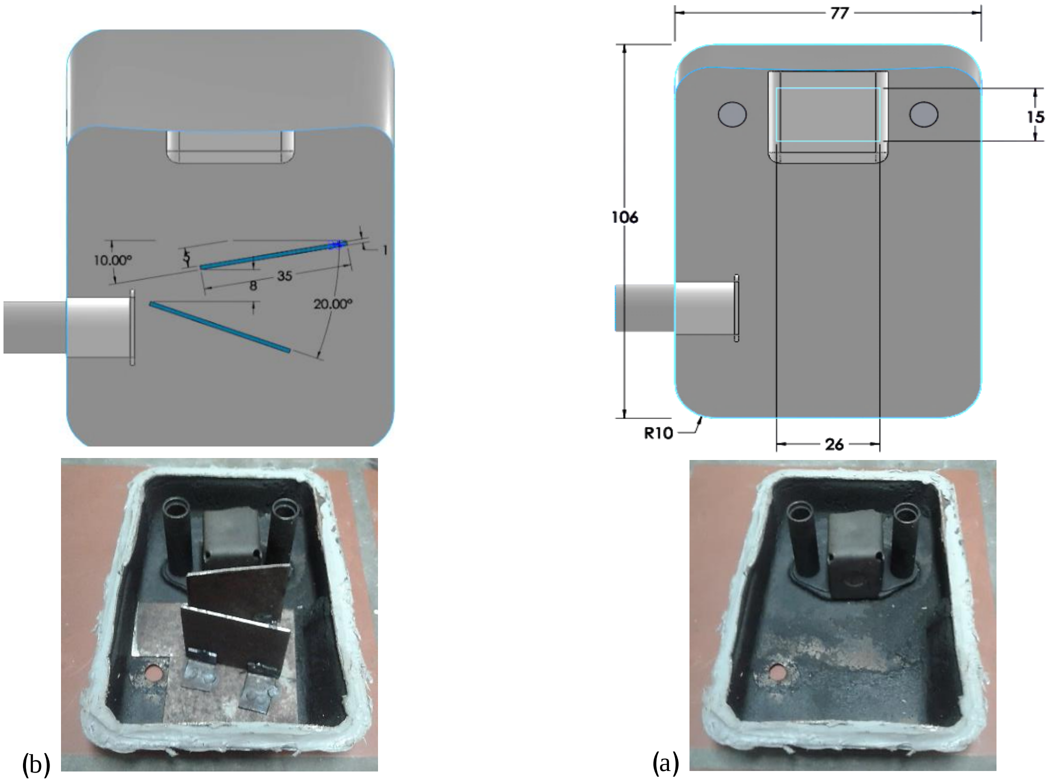
مواد و روش‌ها

طراحی و شبیه‌سازی انباره

اساس طراحی انباره بهینه‌شده در کار حاضر به‌کارگیری روش کنترل غیر فعال صوت از نوع تداخلی می‌باشد. بدین معنی که در این نوع صداگیرها با تغییر شکل هندسی مسیر جریان دود خروجی، بخشی از امواج با طول موج‌های برابر ولی با فاز مخالف به درون یکدیگر هدایت شده و موجب اتلاف توان صوتی می‌شوند. لذا برای بهینه‌سازی انباره موجود، ابتدا انباره اصلی نصب شده بر روی دستگاه

1- Jury Test

چمن‌زن دوشی باز شده و هندسه داخلی و بیرونی آن در نرم‌افزار Solidworks 2014 ترسیم شد. سپس انباره اصلی ترسیم شده به‌همراه انباره‌هایی که هندسه داخلی آن‌ها بهینه شده بود، در نرم‌افزار ANSYS 2019 R2 بازخوانی و از نظر توزیع سرعت و فشار شبیه‌سازی شدند (شکل ۱).



شکل ۱– (a) انباره بدون پره و حالت اصلی، (b) انباره با پره در حالت بهینه‌شده: بالا طراحی‌شده و پایین ساخته‌شده

Fig.1. a) Blade-free muffler and default mode; b) muffler with internal blades in modified mode, up: designed, down: constructed

آزمون میدانی انباره ساخته شده

برای ارزیابی انباره ساخته شده و مقایسه عملکرد آن با انباره اصلی، انباره‌ها به‌نوبت بر روی موتور موجود بر روی چمن‌زن دوما مدل WPGD501 با حجم موتور ۴۲ سی‌سی نصب شده و در محیط باز، آزمایشی در محوطه‌ای با شعاع ۵ متر که هیچ جسمی برای بازتاب صوت وجود نداشت، انجام گرفت که جمع‌آوری داده‌های صوتی طبق ویژگی‌های مکان آزمون بر اساس استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران که در خصوص مقررات آزمون برای اندازه‌گیری سروصدای انواع چمن‌زن‌ها است، انتخاب شد (Anonymous, 2007). سرعت باد در حین آزمایش‌ها حدود ۳ متر بر ثانیه و دمای هوای ثبت شده، ۱۵ درجه سلسیوس بود. مطابق استاندارد ذکر شده، اختلاف تراز فشار صوتی منبع (موتور) با محیط می‌بایست بیش از ۱۰ دسی‌بل باشد و به‌همین منظور قبل از روشن کردن موتور تراز فشار صوتی محیط برابر با ۵۶ دسی‌بل اندازه‌گیری شد. تمام آزمون‌های ثبت میزان صوت خروجی در حالت ثابت و به فاصله ۱ متر با زاویه ۴۵ درجه از خروجی اگزوز برای بازسازی موقعیت گوش کاربر انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری فشار صوت در بازه زمانی از یک صوت‌سنج دیجیتالی TERMINATOR مدل TEM-8820 و یک فشارسنج دیجیتالی مدل PSA-V01 و همچنین برای اندازه‌گیری دور موتور از یک دورسنج لیزری مدل AT-8 استفاده شد. علاوه بر آن از یک موبایل هوشمند با کیفیت ضبط صوت ۱۲۸کیلو بیتی برای ضبط صوت خروجی تحت پاسخ فرکانسی ۱۸ الی ۶۵ هرتز و امپدانس الکتریکی ۱۰۰۰ اهم استفاده گردید. سپس داده‌های صوتی برای تحلیل در نرم‌افزار MATLAB فراخوانی شدند. در ادامه تابع تبدیل سریع فوریه (FFT[1]) برای فایل‌های صوتی ذخیره شده در یک بازه زمانی مشخص در هر مرحله در نرم‌افزار MATLAB به‌کار برده شد. تبدیل سریع فوریه، یک سیگنال را از حوزه اصلی زمان به بازنمایی در حوزه فرکانس تبدیل می‌کند. با این روش، ابتدا سیگنال صوتی در یک بازه زمانی مشخصی نمونه‌برداری شده و از طریق تبدیل فوریه گسسته (DFT[2]) به اجزای فرکانس آن

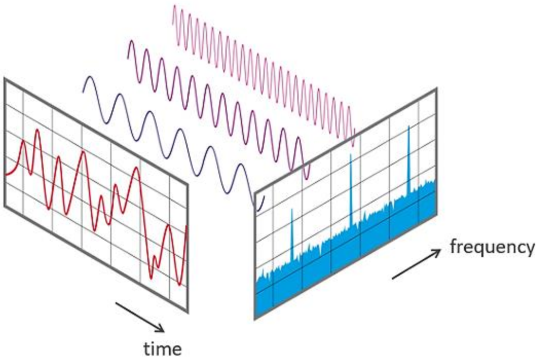
1- Fast Fourier Transform
2- Discrete Fourier Transform

تفکیک گردید. بدین صورت فرکانس‌های غالب در فایل صوتی ذخیره شده آشکار شدند. روش انجام کار در شکل نشان داده شده است. برای نتایج نشان داده شده در شکل ۲، در طول مدت زمان اندازه‌گیری شده، حاوی ۳ فرکانس غالب مشخص است.

تبدیل فوریه سریع گسسته (DFT) توسط سری داده شده در رابطه (۱) تعریف می‌شود:

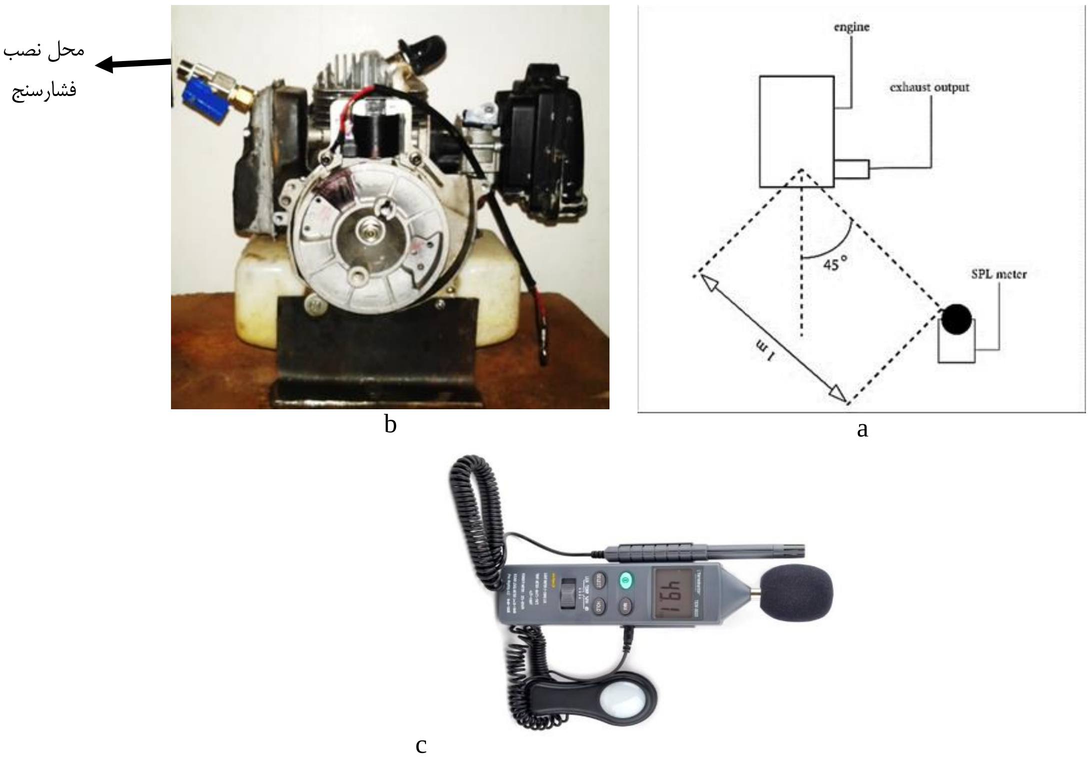
$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \qquad k = 0,1,2,\dots,N-1 \qquad (۱)$$

به‌طوری که در این رابطه $x_1, x_2, \dots, x_{N-1}$ پارامترهای ورودی در بازه زمان و X_k پارامتر خروجی تبدیل DFT در بازه فرکانس می‌باشد.



شکل ۲- نحوه تبدیل ورودی از حوزه زمان به حوزه فرکانس توسط تبدیل فوریه سریع گسسته (DFT)

Fig.2. Conversion method of the input from time domain to frequency domain by Discrete Fast Fourier Transform (DFT)



شکل ۳- (a) چیدمان و نحوه قرارگیری صوت‌سنج نسبت به موتور مورد آزمون، (b) موتور به‌همراه انباره بهینه شده، (c) صوت‌سنج به‌کار گرفته‌شده

Fig.3. a) The layout and position of the sound meter relative to the engine under test; b) Engine with the modified muffler, c) The used sound meter

آزمون‌های مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در نرم‌افزار SAS 9 با موتور چمن‌زن دوشی انجام گرفت. تیمارهای پژوهش عبارت بودند از: انباره اصلی موتور و انباره بهینه شده و دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ دور در دقیقه که تاثیر آن‌ها بر تراز فشار صوتی (SPL[1]) مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین تغییرات فشار پس‌زنی (ΔP) در حالت بدون بار به‌علاوه تحلیل فرکانسی اثر تیمارها بر روی صوت خروجی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس استاندارد ایمنی شنوایی ایران که مطابق است با استاندارد جهانی ISO، زمان مجاز قرارگیری در مقابل صدا از رابطه (۲) برای حد مجاز ۸۵ دسی‌بل و قاعده ۳ دسی‌بل محاسبه شد (Anonymous, 2009):

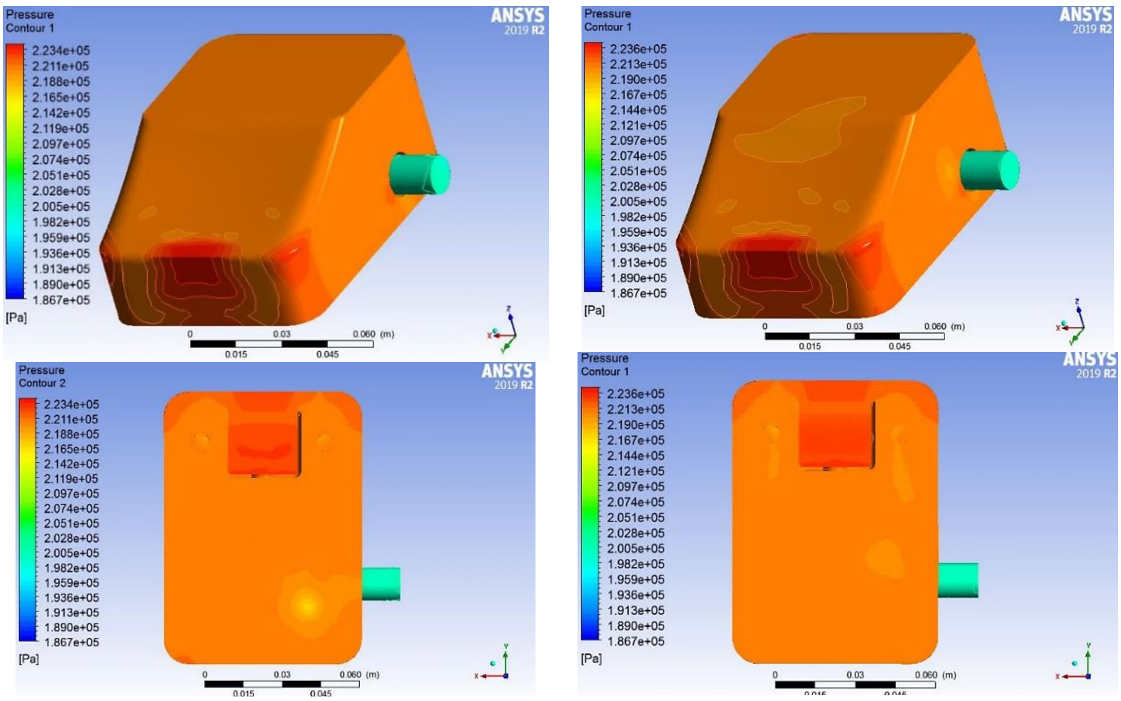
$$t_a = \frac{8}{2^{\left[\frac{SPL-85}{3}\right]}} \qquad (۲)$$

این رابطه نشان می‌دهد که t_a مدت زمان روبه‌رو شدن روزانه برحسب ساعت و SPL تراز فشار صوت بر حسب دسی‌بل است.

نتایج و بحث

تحلیل نتایج مدل‌سازی

نتایج شبیه‌سازی توزیع فشار در انباره اصلی و بهینه‌شده در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج نشان داده شده در شکل (a-۴) که مربوط به انباره اصلی است، سطح ناحیه کم‌فشار انباره اصلی بیشتر از انباره بهینه‌شده است. این بدین معنی است که برای انباره بهینه‌شده، فشار کلی داخل انباره با نصب پره‌های داخلی افزایش یافته است. متعاقب این موضوع، طبق نتایج طراحی فشار پس‌زنی (برگشتی) نیز در انباره بهینه‌شده به میزان ۰/۵۸درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که توزیع فشار فقط در بخش خروجی انباره بدون تغییر می‌ماند که به‌علت تخلیه دود به اتمسفر می‌باشد و در دیواره بخش ورودی، این مقادیر با تغییر انباره موتور، تغییر خواهند کرد. در ضمن با نصب پره‌های داخلی مطابق طرح ارائه شده در مطالعه حاضر، حداکثر تنش وارد به جداره انباره بهینه‌شده به‌میزان ۲/۲ کیلوپاسکال می‌باشد. با توجه به این که حداکثر مقدار تنش مجاز فولاد استفاده شده در بدنه انباره برابر با ۲۱۰ مگاپاسکال است، لذا با ضریب اطمینان بالایی می‌توان گفت که انباره بهینه‌شده بدون نیاز به تغییر ضخامت انباره، تحمل حداکثر فشار داخلی را خواهد داشت.



(b) (a)

شکل ٤– (a) انباره بدون پره و حالت اصلی، (b) انباره بهینه‌شده

Fig.4. a) Blade-free muffler and default mode, b) Modified muffler

تحلیل نتایج میدانی

نتایج آنالیز واریانس میانگین اثرات برهمکنش دور موتور و نوع انباره به‌کار برده شده بر تراز فشار صوت در جدول ۱ ارائه شده است. طبق نتایج نشان داده شده در این جدول، استفاده از انباره بهینه‌شده

1- Sound Pressure Level

در سطح خطای ۱ درصد در تغییرات تراز سطح صوت، معنی‌دار بود. همچنین عامل دور در دو سطح اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری را برای تراز سطح صوتی در سطح خطای ۱ درصد نشان داد. این بدین معنی است که استفاده از بهینه‌سازی در انباره موتور موجب کاهش سطح صدای موتور شده و علاوه‌بر آن با افزایش دور موتور از ۳۰۰۰ به ۵۰۰۰ دور در دقیقه میزان شدت صوت افزایش معنی‌داری داشته است. در مقابل اثر متقابل عوامل نوع انباره و دور موتور در سه تکرار انجام شده اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال بررسی شده نشان نداد.

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس میانگین اثرات تیمارهای دور موتور و نوع انباره بر روی تراز فشار صوت

Table 1- Results of the analysis of the mean of the effects of engine rotational speed and muffler type treatments on sound pressure level

منبع تغییرات **Source of variation**	درجه آزادی **DF**	مجموع مربعات **SS**	میانگین مربعات **MS**	**F**
دور موتور RPM	1	153.37	153.37**	153.37
نوع انباره Muffler type	1	64.87	64.87**	64.87
دور موتور × نوع انباره RPM × Muffler type	1	1.27	1.27ns	1.27
خطا Error	8	8.00	1.00	
کل Total	11	227.50		

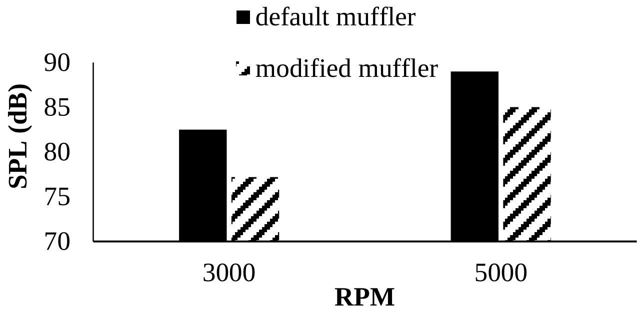
** بیانگر معنی‌داری در سطح خطای ۱ درصد و (ns) عدم وجود اختلاف معنی‌داری

** Significant at 1% error level and (ns) indicates no significant difference

در ادامه نتایج آنالیز واریانس میانگین اثرات دور موتور و نوع انباره به‌کار برده شده بر تراز فشار صوت، تغییرات تراز فشار صوتی (SPL) از طریق تغییر در مشخصات هندسی محفظه انباره از طریق نصب پره‌های داخلی در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داده شده در این نمودار از طریق تبدیل فشار مطلق (P) اندازه‌گیری شده توسط یک صوت‌سنج دیجیتالی به تراز فشار صوتی (SPL) صورت پذیرفته است. در این تبدیل از شبکه وزنی A استفاده شد. دلیل انتخاب شبکه وزنی A این است که این شبکه متناسب با پاسخ فرکانسی گوش انسان است و دامنه‌های فرکانسی مربوط به آزار شنوایی، آسیب شنوایی و افت شنوایی در این محدوده قرار دارند. یکی دیگر از دلایل انتخاب این شبکه، وسعت تغییرات منحنی تراز صدا نسبت به فرکانس صوت منتشر شده در این شبکه می‌باشد (رابطه ۳).

$$SPL = 20 \log P + 94 \quad (۳)$$

که در آن P فشار مطلق اندازه‌گیری شده توسط صوت‌سنج دیجیتالی می‌باشد. طبق نتایج نشان داده شده در این نمودار (شکل ۵)، در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، تراز فشار صوت به‌میزان ۶/۴٪ نسبت به انباره اصلی کاهش پیدا کرده است. همین کاهش تراز فشار صوت در دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه برابر با ۴/۵٪ به‌دست آمد. دلیل اصلی این کاهش تراز فشار صوتی در انباره بهینه شده، ایجاد تداخل بین امواج صوتی در داخل انباره وکاهش توان صوتی می‌باشد. طبق شکل ۴ می‌توان دریافت با افزایش دور موتور میزان تراز فشار صوت نیز افزایش می‌یابد که مطابق نتایج تحقیقات Jahanbakhshi *et al.* (2017) و Behroozi Lar, (2011) است.

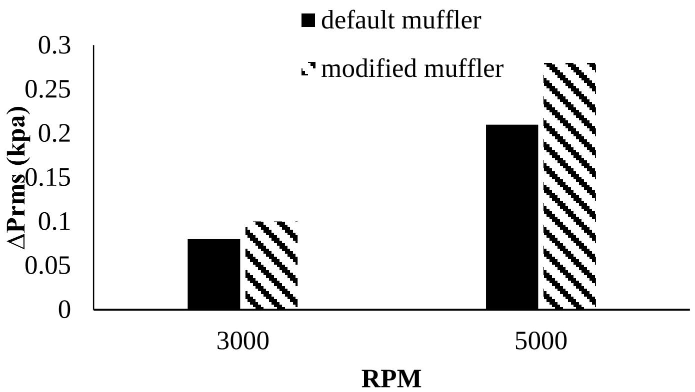


شکل ۵- نمودار تراز فشار صوت ثبت شده در دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ برای انباره اصلی و انباره بهینه شده

Fig.5. Sound pressure level diagrams recorded at 3000 and 5000 rpm for the default and modified muffler

از آن‌جایی که گوش انسان لگاریتمی از مربعات فشار را درک می‌کند (Golmohammadi, 2007)، لذا در ادامه بررسی از اختلاف فشار موثر انباره (ΔP_{rms}) در مدت زمان مشخص استفاده گردید (رابطه ۴). نتایج این بررسی نشان داد که تغییرات فشار برای دو دور آزمایش به یک میزان نبوده و با افزایش دور موتور، تغییرات فشار در انباره روند صعودی داشته است. این یافته با نتایج حاصل از مطالعات Ghafouri, (2014) مطابقت دارد. این تغییرات در انباره بهینه شده به‌میزان ۰/۰۲ کیلوپاسکال در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به‌مقدار ۰/۰۷ کیلو پاسکال در دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه افزایش یافته است. میزان تغییرات فشار در دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه رشد بیشتری نسبت به دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه داشته است (Ghafouri, 2014) (شکل ۶).

$$\Delta p_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta p_i^{\,2}} \qquad (۴)$$



شکل ٦- نمودار فشار پس‌زنی ثبت شده در دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ برای انباره اصلی و انباره بهینه شده

Fig.6. Posterior pressure diagrams recorded at 3000 and 5000 rpm for the default and modified mufflers

نتایج ارائه شده در جدول ۲ که به کمک محاسبات حاصل از رابطه (۲) به‌دست آمده، نشان می‌دهد که با نصب انباره بهینه شده میزان حداکثر ساعت کاری کاربر افزایش داشته است. این تغییرات برای دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه برابر ۳۲/۷ ساعت (ساعت کاری نامحدود) و برای دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه برابر با ۴/۸ ساعت بوده است.

جدول ۲- بررسی میزان اثر عوامل مورد آزمایش بر تغییرات ساعت کاری مجاز برای کاربر

Table 2- Evaluation of the effect of the examined factors on the permitted working operator hours

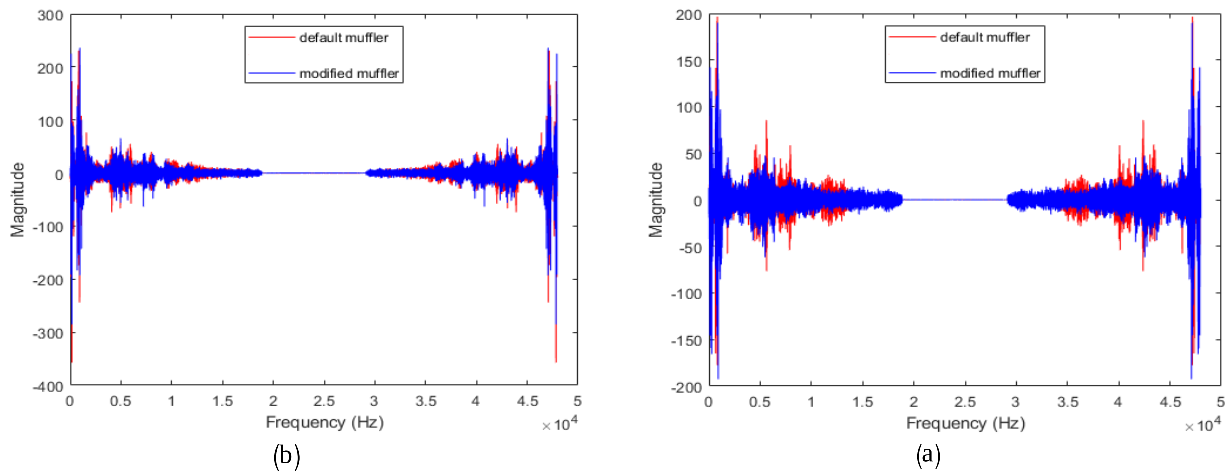
نوع انباره – دور **Muffler type-RPM**	تراز فشار میانگین **Sound pressure level (dB)**	ساعت کاری مجاز با انباره اصلی و بهینه شده **The allowed working hours for the main and optimized muffler**
اصلی – ۳۰۰۰ Default -3000	82.5	14.3
بهینه شده – ۳۰۰۰ Modified -3000	77.2	47*
اصلی – ۵۰۰۰ Default -5000	89	3.2
بهینه شده – ۵۰۰۰ Modified -5000	85	8

* بدون محدودیت کاری

* No work limitations

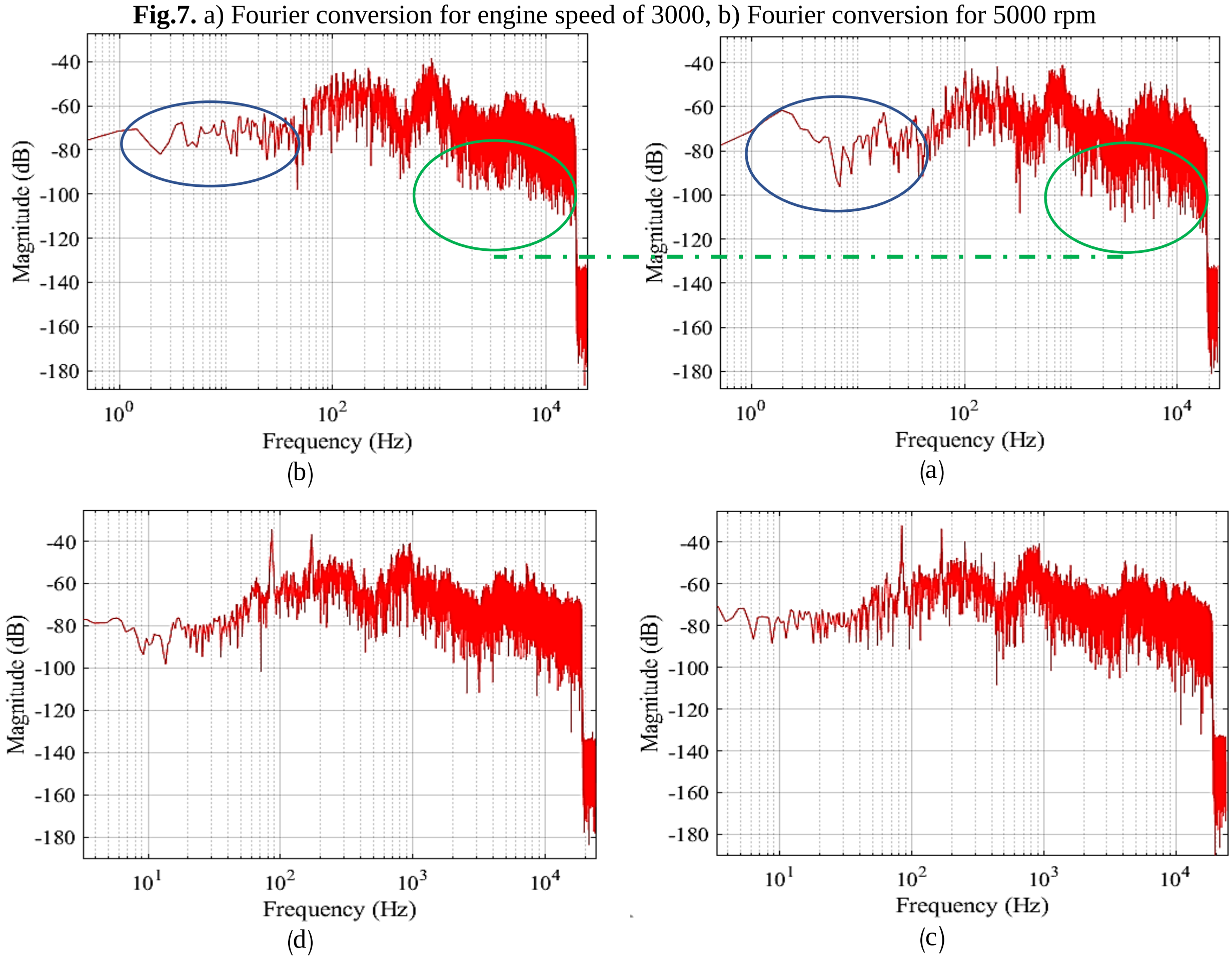
در ادامه کار صوت ضبط شده در هر مرحله، برای آنالیز به نرم‌افزار MATLAB انتقال داده شد. داده‌های مربوط به شدت صوت در دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ دور در دقیقه برای دو انباره اصلی و بهینه شده جهت ترسیم نمودارهای تبدیل سریع فوریه (FFT) به‌کار گرفته شدند. طبق نتایج حاصل از خروجی نمودارهای FFT، شدت و دامنه فرکانس‌های خروجی از انباره بهینه شده تقریباً در بیشتر فرکانس‌ها کاهش داشته است (شکل ۷). این کاهش دامنه در انباره بهینه شده در شکل ۷ با رنگ آبی نشان داده شده نسبت به نمودار FFT مربوط به انباره اصلی (رنگ قرمز) دامنه کوچک‌تری دارد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۷، برای انباره بهینه شده دامنه فرکانس‌های ۱۰ تا ۱۵کیلوهرتز کاهش داشته است. این کاهش شدت در دامنه فرکانس‌ها مخصوصا در فرکانس‌های خطرناک در بازه ۲ تا ۵ کیلوهرتز (Sabanci *et al.*, 1985) اهمیت بیشتری دارد. در خصوص چمن‌زن موتوری، به‌دلیل دوزمانه بودن موتور و عدم وجود جاذب‌های

صدای موتور در دستگاه و کوتاه بودن طول اگزوز، کاهش سروصدای منتشره شده به‌وسیله موتور دستگاه با صرف هزینه‌های زیاد و ایجاد تغییرات اساسی در ساختار موتور امکان‌پذیر است (Maleki and Lashgari, 2013).



شکل ۷– (a) تبدل فوریه برای دور ۳۰۰۰، (b) تبدیل فوریه برای دور ۵۰۰۰

Fig.7. a) Fourier conversion for engine speed of 3000, b) Fourier conversion for 5000 rpm



شکل ۸– نمودار نیمه‌لگاریتمی شدت عملکرد صوت در حوزه فرکانس، (a) انباره اصلی _ دور ۳۰۰۰، (b) انباره بهینه شده _ دور ۳۰۰۰، (c) انباره اصلی _ دور۵۰۰۰، (d) انباره بهینه شده _ دور ۵۰۰۰

Fig.8. Semi-logarithmic diagram of the intensity of the sound performance in the frequency domain, a) 3000-rpm for default muffler, b) modified muffler-3000 rpm, c) 5000 rpm default muffler, d) modified muffler at 5000 rpm

نمودارهای مربوط به شدت صوت بر حسب دسی‌بل نسبت به فرکانس در مختصات نیمه‌لگاریتمی در شکل ۸ (a تا d) برای هر دو انباره اصلی و انباره بهینه شده در دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ دور در دقیقه نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در نمودارهای ۸–a و ۸–b، شدت فرکانس‌های صوتی در انباره بهینه شده به‌طور محسوسی در محدوده ۱ تا ۸۰ هرتز کاهش یافته است که این موضوع در شکل ۸–a و ۸–b با بخش محصور شده در بیضی قابل مشاهده است. همچنین شدت فرکانس‌های ترسیم شده در محدوده ۱ تا ۱۰ کیلو هرتز در انباره بهینه شده کاهش یافته که طبق تحقیقات (Solecki, 2000)، به‌معنی کاهش زیادی از دامنه‌های فرکانسی خطرناک است. چنین نتایج کیفی البته به‌صورت محسوس‌تر برای انباره بهینه شده در دور ۵۰۰۰ دور بر دقیقه در شکل ۸–c و ۸–d نیز قابل مشاهده است. طبق نتایج تغییرات شدت فرکانس‌های ثبت شده در بازه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز بیشتر از سایر دامنه‌های فرکانسی در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه بوده است که این مورد با تحقیق Mohammadi Gahrouyi *et al.* (2020) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر امکان بهینه‌سازی انباره یک موتور احتراقی کوچک مربوط به یک چمن‌زن دوشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای پژوهش شامل انباره اصلی موتور و انباره بهینه شده در سطوح آزمایش شامل دورهای ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ دور در دقیقه و عوامل تحت مطالعه شامل تراز فشار صوتی (SPL) و تغییرات فشار پس‌زنی (ΔP) در حالت بدون بار به‌علاوه تحلیل فرکانسی تیمارها برای بررسی عملکرد صوت‌های خروجی موتور بودند. بررسی میانگین تراز صدای سطوح مختلف تیمارهای مورد آزمایش دستگاه چمن‌زن دوشی نشان داد که تأثیر دور موتور دستگاه چمن‌زن در تراز فشار صوتی منتشر شده معنی‌دار است و در صورت امکان کاهش دور موتور می‌تواند باعث کاهش تراز صدای دستگاه شود. در خصوص چنین موتورهای کوچکی، به‌دلیل دوزمانه بودن موتور و کاهش هزینه‌های طراحی و ساخت آن، همچنین کوتاه بودن طول اگزوز و کوچک بودن انباره، جلوگیری از انتشار سروصدای منتشره شده به‌وسیله موتور دستگاه به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. لیکن طبق نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر، با بهینه‌سازی انباره این موتورها از طریق نصب پره‌های داخلی و خنثی کردن شدت صوت در داخل انباره، امکان کاهش تراز فشار صوت به‌میزان ۴٪ تا حدود ۷٪ نسبت به انباره اصلی وجود دارد که یک روش بسیار ساده و ارزان برای کارخانه‌های سازنده چنین موتورهایی است. در کنار بهینه‌سازی انباره، استفاده از گوشی‌های محافظتی یا طراحی گوشی‌های جدید با امکان فیلتر کردن فرکانس‌های مزاحم نیز می‌تواند راهکار مناسبی بوده و موضوع تحقیقات بعدی باشد.

References

1. Anonymous. 2007. Acoustic Test Regulations for Measuring Airborne Noise Released by Power Lawnmowers, Lawn Tractors, Lawn and Horticultural Tractors, Professional Lawnmowers and Lawn and Horticultural Tractors with Lawn Mowers. Iranian Institute of Standards and Industrial Research. No. 10549, (In Farsi).
2. Anonymous. 2009. Acoustic noise emitted by machinery and equipment measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions-survey method in situ. ISO 11202. Switzerland. 26 p.
3. Aybek, A., H. Atil Kamer, and S. Arslan. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. Applied Ergonomics 41: 274-281.
4. Behroozi Lar, M., Z. Khodarahm Pour, M. Mehrzad Payandeh, and J. Jahangir Bagheri. 2011. Noise level of two types of tractor and health effect on drivers. Journal of American Science 7: 382-387.
5. Cho, P., and A. Karavadi, 1999. Sound Quality Target Development Process for Agricultural and Construction Machinery. SAE Technical Paper No. 1999-01-2820.
6. Ghafouri, S. 2014. Investigation of noise reduction due to the use of tubing and wires in the inner wall of motorcycle exhaust. Trabiat Modares University, MSc Thesis. (In Farsi).
7. Golmohammadi, R. 2007. Sound and vibration engineering. Third Edition. Daneshjoo Publications, Hamedan. Page. 534. (In Farsi).
8. Hassan Beigi Bidgoli, R., B. Ghobadian, P. Nasiri, and N. Kamalian. 2005. Investigation and noise analysis of a two-wheel tractor pulling a trailer on a rural asphalt road. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 8: 225-240. (In Farsi).
9. Jahanbakhshi, A., B. Ghamari, and K. Heidarbeigi. 2017. Assessing acoustic emission in 1055I John Deere combine harvester using statistical and artificial intelligence methods. International Journal of Vehicle Noise and Vibration 13: 105-117.
10. Jahanbakhshi, A. 2016. Study of vibration and acoustic emission in john Deere 1055I combine. M.Sc. dissertation, Ilam University, Iran. (In Farsi).
11. Karamat Siavash, N., Gh. Najafi, S. R. Hasan Beigi Bidgoli, and B. Ghobadian. 2014. Noise Analysis of Two Wheel Tractor Using Mixed Diesel and Biodiesel Fuels. Journal of Agricultural Machinery 5: 481-490. (In Farsi).

12. Lashgari, M. 2016. Acoustic annoyance analysis using sound quality criteria. Journal of sound and Vibration 5: 107-116. (In Farsi).
13. Maleki, A., and M. Lashgari. 2013. Study of noise level emitted by motorized mower. Journal of Agricultural Machinery 2: 29-35. (In Farsi).
14. Meyer, R. E., C. V. Schwab, and C. J. Bern. 1993. Tractor noise exposure for bean bar riders. Journal of Transaction of ASAE 36: 1049-1056.
15. Mohammadi Gahrouyi, R., A. Maleki, and M. Lashgari. 2020. Effect of Material Composition type and Audio Frequency factors on Absorption Coefficient and the Sound Level Variation. Modares Mechanical Engineering, 20: 649-658. (In Farsi).
16. Nor, M. J. M., M. H. Fouladi, H. Nahvi, and A. K. Ariffin. 2008. Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car. Journal of Applied Acoustics 69: 343-353.
17. Pruvost, L., Q. Leclere, and E. Parizet. 2009. Diesel engine combustion and mechanical noise separation using an improved spectrofilter. Journal of Mechanical Systems and Signal Processing 23: 2072 2087.
18. Sabanci, A., F. Özgüven, C. Özşahinoğlu, and F. Özsoy. 1985. Noise analysis on agricultural tractors and its effects to hearing ability. In 8th Joint Ergonomics Symposium, Silsoe, Bedforshire, UK.
19. Solecki, L. 2000. Duration of exposure to noise among farmers as an important factor of occupational risk. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 7: 89-93.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 359-369

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۶۹-۳۵۹

Optimizing the Muffler of a Portable Lawn Mower Engine to reduce Noise Pollution Levels

Sh. Sedighi[1], D. Kalantari[1*], J. Rédl[2]

Received: 30-12-2019
Accepted: 23-05-2020

Introduction

The most important adverse effects of noise on humans have reduced work efficiency and physiological damaging effects such as increased heart rate, high blood pressure, permanent and temporary hearing loss, impaired vision, disrupting the body's balance system, causing nervous disorders and even nervous disorders. Much of the occupational disturbance is due to acoustic vibrations in agricultural mechanization, which is affecting a large number of farmers. In this regard, most of the noise and vibration come from two-stroke or four-stroke engines that are used in lawn mowers, sprayers, pits and more. These high-vibration equipment causes a great deal of damage to their operators. Portable lawn mowers are popular for working in urban and rural areas due to their low cost, low maintenance cost, high maneuverability and affordability. Therefore, the possibility of optimizing the muffler of a small combustion engine for a lawn mower was investigated and studied in the present stud.

Materials and Methods

To optimize the existing muffler, geometry of the factory muffler was first redesigned in solidworks 2014 software. Then the optimized muffler, along with the factory muffler exported into ANSYS CFX software and simulated in terms of velocity and pressure distributions. To evaluate the built muffler and compare its performance with the factory standard muffler, the mufflers were then mounted on a DOMA's lawnmower model WPGD501 with a 42 cm^3 engine volume and tested outdoors in a radius of 5 m. All sound recording tests were performed in steady state at a distance of 1m with a 45° angle and position along the exhaust outlet to reconstruct the user's ear position. A digital thermometer TEM-8820 and a PSA-V01 digital barometer were used to measure the sound pressure and an environment temperature.

Results and Discussion

The results showed that at 3000 rpm, the sound pressure level of the modified muffler decreased by 6.4% compared to the modified muffler. The same decrease in sound pressure level was achieved at 5000 rpm, equal to 4.5%. The results of this study showed that with increasing engine speed, pressure changes in the muffler had an upward trend. These changes in the modified muffler increased by 0.02 kPa at 3000 rpm and by 0.07 kPa at 5000 rpm. According to the outputs of the FFT diagrams, the intensity and amplitude of the output frequencies from the modified muffler significantly decreased almost at most frequencies. Therefore, effective pressure difference (ΔPrms) was used for the further investigations. The results of this study showed that the pressure changes in the muffler had an upward trend with increasing the engine speed. These changes in the modified muffler increased by 0.02 kPa at 3000 rpm and by 0.07 kPa at 5000 rpm.

Conclusions

According to the results of the present study, by optimizing the internal muffler geometry of the lawn-mowers by installing internal blades and neutralizing the sound intensity inside the muffler, it is possible to reduce the sound pressure level by 4% to about 7% over the original muffler. It is a very simple and inexpensive method for the manufacturers of such engines.

Keywords: Ergonomics, Lawn mower, Muffler, Noise pollution, Sound pressure level

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Iran
2- Department of Machine Design, Faculty of Engineering, SAU in Nitra, Slovak Republic
(*- Corresponding Author Email: d.kalantari@sanru.ac.ir)